





FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

---

**(57) Abrégé :** La présente invention concerne un dispositif de capture de l'orientation d'un solide comprenant: au moins un capteur (10a, 10b) de position angulaire, susceptible d'être rendu solidaire du solide et de délivrer au moins une donnée de mesure ( $\theta_m$ ) représentative de l'orientation du solide, un moyen (14) générateur de données de test ( $\theta_t$ ) représentatives d'une orientation estimée du solide, un moyen (18) de modification de l'orientation estimée du solide par confrontation de la donnée de mesure et de données de test. Application aux périphériques de saisie pour l'informatique, au domaine médical.

DISPOSITIF DE CAPTURE DES MOUVEMENTS DE ROTATION D'UN  
SOLIDE.

Domaine technique

5           La présente invention concerne un dispositif et  
un procédé de capture de l'orientation et du mouvement  
de rotation d'un solide. Les dispositifs de capture du  
mouvement, parfois désignés par « mocap », (de « motion  
capture » en anglais) trouvent des applications dans  
10 des domaines aussi variés que les domaines de la santé,  
le multimédia, la recherche minière ou la géophysique.

          Dans le domaine d'application des jeux ou des  
simulations vidéo, les mouvements d'un utilisateur  
peuvent en effet être enregistrés pour la commande de  
15 systèmes immersifs de réalité virtuelle. A titre  
d'exemple, les mouvements d'un joueur peuvent être  
enregistrés pour commander l'évolution d'un personnage  
virtuel dans une scène de synthèse.

          Dans le domaine de la santé, les dispositifs de  
20 capture de mouvement peuvent être utilisés pour  
positionner un outil de chirurgie ou bien pour  
surveiller l'évolution de l'autonomie des personnes  
fragiles en rendant compte de leur activité physique.

          Dans le domaine de l'électronique portable, les  
25 dispositifs de capture de mouvement permettent aux  
appareils de s'adapter au contexte d'utilisation. Ils  
permettent, par exemple, d'optimiser la réception, d'un  
téléphone portable par la connaissance de son  
orientation, ou d'améliorer les interfaces des  
30 assistants personnels.

Etat de la technique antérieure

Les capteurs de mouvement, et plus précisément les capteurs de position angulaire, sont fortement miniaturisés et font l'objet de recherches pour leur  
5 conférer une robustesse et un coût compatibles avec des applications visant le grand public.

La position d'un solide dans l'espace est entièrement déterminée par la connaissance de six grandeurs. Parmi celles-ci on distingue trois grandeurs  
10 susceptibles de traduire des translations et trois autres grandeurs susceptibles de traduire des rotations. Les trois dernières grandeurs correspondent à des positions angulaires. Celles-ci peuvent être utilisées pour déterminer des mouvements dits de lacet  
15 de tangage et de roulis.

Selon les applications envisagées, il n'est pas toujours nécessaire de disposer de l'ensemble des six grandeurs associées à six degrés de liberté. Un nombre plus restreint de données peut en effet suffire dans un  
20 grand nombre de cas.

On connaît principalement deux types de capteurs susceptibles de détecter la position angulaire ou la rotation d'un solide. Il s'agit d'une part des capteurs sensibles à un champ magnétique, tels que les  
25 magnétomètres, et d'autre part des capteurs sensibles à une accélération, tels que des accéléromètres. De façon avantageuse, les accéléromètres peuvent mesurer des accélérations quelconques du solide, donc par exemple, des modifications de l'orientation du solide par  
30 rapport à la direction du champ de gravité terrestre.

Les magnétomètres peuvent être utilisés en combinaison avec une source de champ magnétique artificielle. On préfère toutefois faire appel à des magnétomètres susceptibles de détecter l'orientation du solide par rapport au champ magnétique terrestre. On considère bien sûr que les directions du champ magnétique et de l'accélération de la pesanteur ne sont pas colinéaires.

Les capteurs peuvent être du type à axe unique, c'est-à-dire sensibles selon une direction unique de l'espace. Cependant, on utilise de préférence des capteurs à deux ou à trois axes non parallèles. Ceux-ci délivrent alors des valeurs de mesure permettant de connaître de façon complète une position angulaire d'un solide dont ils sont solidaires.

Les capteurs délivrent un signal de mesure  $M$  qui est relié à leur inclinaison  $I$  par une fonction  $f$  telle que :

$$M=f(I).$$

L'inclinaison est considérée ici par rapport à une position angulaire de référence. Celle-ci peut être arbitraire ou ajustée sur le champ magnétique ou le champ de gravitation terrestre. La grandeur que l'on souhaite connaître est l'inclinaison  $I$ . Celle-ci peut être retrouvée par calcul selon une formule  $I=f^{-1}(M)$ .

La fonction inverse  $f^{-1}$  est cependant difficile à établir avec exactitude. De plus, elle souffre de discontinuités et de non-linéarités. Une difficulté tient par exemple au fait que les capteurs utilisant le champ de la pesanteur permettent certes de retrouver à tout instant des rotations autour d'axes horizontaux

mais non autour de la direction de la pesanteur. Il en va de même pour les magnétomètres qui ne sont efficaces que pour mesurer des rotations dont l'axe n'est pas confondu avec la direction du champ magnétique utilisé  
5 comme référence. Des non-linéarités proviennent aussi des fonctions trigonométriques mises en jeu par le calcul de la fonction inverse.

Des inexactitudes supplémentaires proviennent du fait que les capteurs à trois axes ne présentent pas  
10 toujours une relation angulaire très précise entre les axes. Par exemple, les axes ne sont pas exactement orthogonaux.

Une illustration de l'état de la technique peut encore être trouvée dans les documents (1) à (4) dont  
15 les références sont précisées à la fin de la présente description.

#### Exposé de l'invention

L'invention a pour but de proposer un  
20 dispositif et un procédé de capture de l'orientation d'un solide ne présentant pas les limitations et difficultés évoquées ci-dessus.

Un but est en particulier de proposer un tel dispositif qui soit peu coûteux et susceptible d'être  
25 intégré dans des équipements destinés à un large public.

Un but est encore de proposer un dispositif fiable, peu sensible à des phénomènes de non-linéarité affectant les mesures, et permettant de prendre en  
30 compte directement d'éventuelles imperfections des capteurs.

Pour atteindre ces buts, l'invention concerne plus précisément un dispositif de capture de l'orientation d'un solide comprenant :

- au moins un capteur de position angulaire susceptible  
5 d'être rendu solidaire du solide et de délivrer au moins une donnée de mesure représentative de l'orientation du solide,
- un moyen générateur de données de test représentatives d'une orientation estimée du solide,
- 10 - un moyen de modification de l'orientation estimée du solide par confrontation de la donnée de mesure et de données de test.

Dans la description qui suit, il est fait référence à l'orientation d'un solide. Le solide ne  
15 fait cependant pas partie du dispositif de capture. L'orientation correspond plus précisément à celle du ou des capteurs susceptibles d'être fixés au solide. Par ailleurs, les termes orientation et position angulaire sont utilisés comme synonymes. Grâce au dispositif de  
20 l'invention, il est possible d'affiner successivement l'estimation de l'orientation du solide.

Après une ou plusieurs modifications de l'orientation estimée, celle-ci converge vers l'orientation effective du solide, ou, plus  
25 précisément, vers l'orientation mesurée. Ainsi, le dispositif de l'invention ne nécessite pas de moyens de calcul pour établir l'orientation ou l'inclinaison du solide sur la base d'une fonction (inverse) des données de mesure des capteurs.

30 Le dispositif de l'invention permet de prendre directement en compte les imperfections des capteurs et

permet de s'affranchir des comportements non linéaires de ceux-ci. A titre d'exemple, l'utilisation de capteurs à trois axes sensibles non orthogonaux est possible.

5            Selon une réalisation particulière du dispositif, les moyens de modification de l'orientation estimée peuvent comporter un premier comparateur relié d'une part au capteur et d'autre part au moyen générateur de données de test. Le premier comparateur  
10 reçoit ainsi la donnée de mesure et une donnée de test, et peut établir au moins une différence entre la donnée de test et la donnée de mesure.

          La différence entre la donnée de test et la donnée de mesure constitue une mesure de la pertinence  
15 de l'orientation estimée.

          La corrélation entre l'orientation estimée et la donnée de test générée peut être donnée, par exemple, par une fonction directe  $f$  telle qu'évoquée dans la partie introductive de la description. Il  
20 s'agit, par exemple, d'une simple fonction de modélisation du comportement des capteurs.

          La différence entre chacune des données de test successives et la donnée de mesure peut aussi être mise à profit pour contrôler la nécessité ou non d'affiner  
25 encore l'orientation estimée. Ainsi, le dispositif peut comporter un deuxième comparateur à seuil pour comparer la différence établie par le premier comparateur à une valeur de seuil et pour valider l'orientation estimée, lorsque la différence établie par le premier  
30 comparateur pour une valeur de test donnée est inférieure à la valeur de seuil.



Lorsque la différence reste trop importante une nouvelle estimation de l'orientation est entreprise.

Les moyens de modification de l'orientation estimée et/ou les moyens générateurs d'une donnée de test peuvent comporter un calculateur pour établir une nouvelle orientation estimée et/ou une nouvelle donnée de test selon une méthode dite de descente de gradient d'erreur.

Par ailleurs, les moyens générateurs de données de test peuvent comporter un calculateur pour calculer des données de test en fonction d'une orientation estimée, et en fonction de paramètres caractéristiques d'une réponse du capteur de position angulaire.

Le dispositif de l'invention peut comporter un ou plusieurs capteurs de position angulaire sensibles à la gravité et un ou plusieurs capteurs de position angulaire sensibles à un champ magnétique.

De façon plus générale, d'autres capteurs sont susceptibles de donner des informations sur leur position angulaire par rapport à une direction de référence de l'espace.

Par exemple, il existe des capteurs aptes à mesurer un gradient de température, un gradient de pression, des capteurs d'image (visible ou thermique).

A titre d'exemple, le capteur sensible à la gravité peut comprendre au moins un accéléromètre et le capteur sensible à un champ magnétique peut comprendre au moins un magnétomètre.

Afin de mesurer la position angulaire de façon la plus complète et la mieux déterminée, le dispositif

est de préférence équipé de deux capteurs ayant chacun trois axes de sensibilité.

L'invention concerne également un dispositif de capture du mouvement de rotation d'un solide comprenant  
5 un dispositif de capture de l'orientation tel que décrit ci-dessus et des moyens pour enregistrer des estimations successives de l'orientation du solide. Il s'agit, par exemple, d'une mémoire. Le dispositif peut comporter aussi une horloge pour cadencer  
10 l'enregistrement des estimations successives de l'orientation du solide. L'horloge permet également d'établir des vitesses et des accélérations angulaires, si nécessaire.

Le calcul du mouvement peut avoir lieu dans le  
15 calculateur et selon des lois classiques de la cinétique d'un solide.

L'invention concerne encore un procédé d'estimation de l'orientation d'un solide comprenant les étapes suivantes :

- 20 a) la saisie d'au moins une donnée de mesure en provenance d'au moins un capteur de position angulaire et l'établissement d'au moins une donnée de test représentative d'une orientation estimée du capteur,
- 25 b) la confrontation de la donnée de test et de la donnée mesurée,
- c) l'établissement d'au moins une nouvelle donnée de test représentative d'une nouvelle orientation estimée du solide, corrigée en fonction de la  
30 confrontation précédente,
- d) la répétition des étapes b) et c).

On peut itérer les étapes b) et c) jusqu'à ce que la confrontation révèle une différence entre la donnée de test et la donnée de mesure inférieure à un seuil déterminé.

5           La confrontation des données peut comporter leur comparaison ou le calcul d'une différence, comme indiqué précédemment.

          L'invention se distingue des dispositifs de l'état de la technique par le fait que la détermination  
10 de l'orientation ne se fait pas nécessairement dans un temps constant. Dans les dispositifs de l'état de la technique, la détermination de l'orientation est effectuée dans un temps fixe correspondant au temps de calcul nécessaire. Dans le cas d'une confrontation  
15 itérative telle qu'indiquée ci-dessus, le temps pris par la détermination de l'orientation est, par exemple, lié à la pertinence de l'estimation initiale de l'orientation et la vitesse de convergence des estimations successives. En d'autres termes, le temps  
20 mis pour la détermination de l'orientation dépend du nombre de répétitions des étapes b) et c). Le temps de traitement ne constitue toutefois pas un obstacle pour la mise en œuvre du procédé. En effet les mesures réelles effectuées ne sont en effet que de l'ordre de  
25 500 par capteur et par seconde. Il est ainsi possible d'effectuer plusieurs boucles d'estimation pour chaque mesure. Le nombre de boucles est en général inférieur à 30. Souvent, quelques boucles suffisent.

          Comme indiqué précédemment, lors de l'étape c),  
30 on peut effectuer un calcul de corrélation selon une méthode de descente de gradient d'erreur. Bien que cela

constitue une solution moins préférable, il est encore possible d'effectuer des estimations aléatoires.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui va suivre, en référence à la figure du dessin annexé. Cette description est donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

Description détaillée d'un mode de mise en œuvre de l'invention.

Les références 10a et 10b indiquent respectivement un accéléromètre et un magnétomètre. Il s'agit de capteurs à trois axes de sensibilité, de type connu, susceptibles de délivrer des données de mesure représentatives de l'orientation, c'est-à-dire d'une position angulaire d'un solide S. Le solide S est indiqué sommairement en trait discontinu. Il s'agit par exemple d'une partie du corps humain dont on veut apprécier les mouvements, une souris informatique, un outil chirurgical, ....

Les mesures des capteurs, notées  $\Theta_m$ , sont des grandeurs scalaires ou vectorielles. Elles sont représentatives, par exemple, d'angles de lacet, de roulis et de tangage ( $\phi, \psi, \theta$ ).

Ces mesures sont dirigées vers un comparateur 12. Il s'agit, dans l'exemple illustré, d'un différenciateur. Le comparateur 12 reçoit aussi une ou plusieurs données de test  $\Theta_t$  délivrées par un calculateur 14. La donnée de test peut être de type vectorielle et exprimer des angles selon plusieurs axes. Le calculateur 14 est utilisé comme moyen

générateur de données de test. Les données de test sont représentatives d'une orientation estimée du solide qui peut être aléatoire ou non. Il s'agit, par exemple, de triplets d'angles de lacet, de roulis et de tangage  
5  $(\varphi, \psi, \theta)$ . Le calculateur peut être localisé sur le solide S.

Le comparateur délivre une différence  $\Delta\theta$ , qui, selon un ou plusieurs axes, représente un écart entre l'orientation réelle, correspondant à la donnée de  
10 mesure, et l'orientation estimée correspondant à la donnée de test. Cet écart est utilisable pour affiner l'orientation estimée du capteur, et donc du solide auquel il est fixé.

Toutefois, il est possible de fixer un seuil  $\theta_h$   
15 en delà duquel on considère que l'orientation estimée est suffisamment proche de l'orientation mesurée pour être validée. Ceci peut avoir lieu au moyen d'un deuxième comparateur 16 prévu pour comparer la différence  $\Delta\theta$  avec la valeur de seuil  $\theta_h$ .

20 Lorsque la différence est inférieure au seuil en valeur absolue la donnée de test  $\theta_t$ , c'est-à-dire l'estimation de la position angulaire est dirigée vers une sortie O.

En revanche, lorsque la différence est  
25 supérieure au seuil, elle est dirigée vers le calculateur 14 pour effectuer une nouvelle estimation de la position. Les comparateurs 12 et 16 constituent ainsi avec le calculateur 14 des moyens 18 de modification de l'orientation estimée du solide 5.

30 La nouvelle estimation peut être aléatoire. Elle peut aussi être affinée selon un calcul de

correction par la méthode de descente de gradient d'erreur. Cette méthode, connue en soi est illustrée par le document (4) dont les coordonnées sont précisées à la fin de la description et auquel on peut se référer  
5 pour compléter l'exposé.

Le deuxième comparateur peut éventuellement être éliminé. Dans ce cas, la valeur estimée est continuellement affinée jusqu'à la saisie d'une nouvelle valeur de mesure.

10 Le dispositif de la figure comprend des moyens, par exemple une mémoire, pour enregistrer les valeurs estimées successives, validées, en fonction de mesures successives de la position angulaire du solide. La mémoire M peut faire partie du calculateur et peut être  
15 localisée sur le solide S. Les valeurs successives permettent de calculer le mouvement de rotation du solide de même que ses vitesses et accélérations angulaires. Pour démarrer la mesure d'une nouvelle orientation du solide, la première donnée de test  
20 générée est avantageusement la valeur estimée validée de la position précédente.

La saisie de valeurs de mesure par les capteurs, et l'enregistrement des valeurs estimées dans la mémoire M peuvent être cadencés par une horloge H.

25 Contrairement au procédé de l'art connu à inversion directe, le procédé de capture de l'orientation d'un solide selon l'invention permet l'utilisation d'un nombre quelconque de capteurs, sous réserve que ce nombre soit supérieur au nombre de  
30 variables d'angle I à estimer (le nombre de variables d'angle I à estimer est compris entre 1 et 3). Selon la

qualité souhaitée de l'estimation, un dispositif selon l'invention peut alors comprendre le nombre minimal de capteurs nécessaire ou un nombre de capteurs supérieur au nombre minimal (redondance).

5            Selon un perfectionnement de l'invention, la contribution de chaque capteur peut être pondérée. Il est alors établi un critère de confiance ou poids  $C_m$  qui est associé à chaque composante de la mesure  $\Theta_m$  afin de prendre cette dernière plus ou moins en compte  
10 dans l'algorithme de recherche des angles. Le calcul d'un poids  $C_m$  est établi selon les règles suivantes :

- a) le poids  $C_m$  a une valeur égale à 1 par défaut,
- b) le poids  $C_m$  prend la valeur 0 dans le cas où  
15 la mesure délivrée est une valeur aberrante (saturation, valeur traduisant un mauvais fonctionnement, etc.),
- c) le poids  $C_m$  a une valeur égale à 0 lorsque le niveau de bruit mesuré par le capteur dépasse un  
20 certain seuil, une valeur intermédiaire variant linéairement de 0 à 1 pouvant être appliquée pour des valeurs de bruit variant de la valeur du seuil à une valeur de bruit considérée comme négligeable,
- d) la confiance est réduite sur les  
25 accéléromètres si l'accélération totale mesurée s'éloigne en norme de la valeur de la pesanteur,
- e) la confiance est réduite sur les  
30 magnétomètres si les magnétomètres enregistrent une variation trop importante de leur norme (on

peut alors soupçonner la présence d'objet(s) ferromagnétique(s) à proximité du capteur).

En l'absence de pondération, pour une itération effectuée par le calculateur 14, la modification d'un angle de test I est liée à la grandeur  $S_I$  telle que :

$$S_I = \sum_{n=1}^N ( \alpha_{In} \Delta\theta_n ), \text{ où}$$

n est l'indice d'un capteur,

10 N est le nombre de capteurs,

$\alpha_{In}$  est un paramètre relatif au capteur d'indice n, calculé de façon usuelle par la descente de gradient,

$\Delta\theta_n$  est l'écart entre l'orientation réelle et l'orientation estimée du capteur d'indice n.

15 L'introduction d'un poids  $Cm_n$  relatif au capteur d'indice n modifie alors l'expression de la grandeur  $S_I$  comme suit :

$$S_I = \sum_{n=1}^N Cm_n ( \alpha_{In} \Delta\theta_n )$$

20

De façon générale, les valeurs d'un poids  $Cm_n$  peuvent évoluer continûment entre la valeur 1 (confiance totale sur la mesure effectuée par le capteur d'indice n) et la valeur 0 (absence totale de confiance sur la mesure effectuée par le capteur d'indice n, la mesure effectuée par le capteur d'indice n n'est pas prise en compte).

#### DOCUMENTS CITES

30 (1)

US-5 953 683, "Sourceless orientation sensor" de KOGAN Vladimir et al.



(2)

US-6 702 708, "A miniature, sourceless, networked,  
solid state orientation module" de Christopher  
Townsend et al., MicroStrain Inc. 294 N. Winooski  
5 Ave., Burlington, VT 05401, USA

(3)

"A miniature, sourceless, networked, solid state  
orientation module", de Christopher Townsend, David  
10 Guzik, Steven Arms, MicroStrain Inc., 294 N,  
Winooski Ave., Burlington, VT 05401. USA, pages 44  
à 50.

(4)

"Méthode de calcul numérique" de J.P. NOUGIER, 3<sup>ème</sup>  
15 édition 1987, Edition MASSON, pages 54-58.

## REVENDEICATIONS

1. Dispositif de capture de l'orientation d'un solide comprenant :

- 5 - au moins un capteur (10a, 10b) de position angulaire, susceptible d'être rendu solidaire du solide et de délivrer au moins une donnée de mesure ( $\Theta_m$ ) représentative de l'orientation du solide,
- un moyen (14) générateur de données de test ( $\Theta_t$ )  
10 représentatives d'une orientation estimée du solide,
- un moyen (18) de modification de l'orientation estimée du solide par confrontation de la donnée de mesure et de données de test.

15 2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens (18) de modification de l'orientation estimée comportent un premier comparateur (12) relié au capteur (10a, 10b) et au moyen générateur (14), pour recevoir la donnée de mesure et au moins une donnée de  
20 test, et pour établir au moins une différence ( $\Delta\Theta$ ) entre la donnée de test et la donnée de mesure.

3. Dispositif selon la revendication 2, comprenant en outre un deuxième comparateur à seuil  
25 (16) pour comparer la différence établie par le premier comparateur (12) à une valeur de seuil ( $\theta_h$ ) et pour valider l'orientation estimée, lorsque la différence établie par le premier comparateur est inférieure à la valeur de seuil.

30 4. Dispositif selon la revendication 1, comprenant au moins un capteur de position angulaire

(10b) sensible à la gravité et au moins un capteur de position angulaire (10a) sensible à un champ magnétique.

5            5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel le capteur sensible à la gravité comprend au moins un accéléromètre et le capteur sensible à un champ magnétique comprend au moins un magnétomètre.

10           6. Dispositif selon la revendication 4, comprenant deux capteurs ayant chacun trois axes de sensibilité.

15           7. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens (14) générateurs de données de test comportent un calculateur pour calculer des données de test en fonction d'une orientation estimée, et en fonction de paramètres caractéristiques d'une réponse du capteur de position angulaire.

20           8. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel le calculateur est localisé sur le solide.

25           9. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens (18) de modification de l'orientation estimée et/ou les moyens générateurs d'une donnée de test comportent un calculateur pour établir une nouvelle orientation estimée et/ou une nouvelle donnée de test selon une méthode dite de descente de gradient  
30 d'erreur.

10. Dispositif selon la revendication 9, dans lequel le calculateur est localisé sur le solide.

5 11. Dispositif de capture du mouvement de rotation d'un solide comprenant un dispositif de capture de l'orientation selon l'une quelconque des revendications précédentes et des moyens (M) pour enregistrer des estimations successives de l'orientation du solide.

10

12. Dispositif selon la revendication 11, dans lequel les moyens (M) pour enregistrer sont localisés sur le solide.

15 13. Dispositif selon la revendication 11, comprenant une horloge (H) pour cadencer l'enregistrement des estimations successives de l'orientation du solide.

20 14. Procédé d'estimation de l'orientation d'un solide comprenant les étapes suivantes :

- 25 a) la saisie de données de mesure en provenance d'au moins un capteur de position angulaire (10a, 10b) et l'établissement d'une donnée de test représentative d'une orientation estimée du solide,
- b) la confrontation de la donnée de test et la donnée mesurée,
- 30 c) l'établissement d'une nouvelle donnée de test représentative d'une nouvelle orientation estimée du solide, corrigée en fonction de la confrontation précédente,

d) la répétition des étapes b) et c).

15 15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel les étapes b) et c) sont répétées jusqu'à ce que la confrontation révèle une différence entre la donnée de test et la donnée de mesure inférieure à un seuil déterminé.

10 16. Procédé selon la revendication 14, dans lequel lors de l'étape c), on effectue un calcul de correction selon une méthode dite de descente de gradient d'erreur.

15 17. Procédé selon la revendication 14, dans lequel la confrontation des données de test et de la donnée de mesure comprend l'établissement de données de différence ( $\Delta Q$ ) entre des données de test successives et la donnée de mesure.

20 18. Procédé de capture de mouvement d'un solide, caractérisé en ce qu'on répète le procédé selon la revendication 14 avec des données de mesure successives.

